جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره دوازدهم، زمستان ۱۳۹۳

صص ۵۲-۳۵

ارزیابی تأثیر گسل و سنگ‌شناسی بر عملکرد عامل جهت شیب در وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز بابلرود)

مریم فتاحی بندپی[۱]- دانشجوی دکترای زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
محمد غفوری- استاد زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
غلامرضا لشکری‌پور- استاد زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
ناصر حافظی‌مقدس- استاد زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۷/۱

چکیده

هدف از انجام این پژوهش، بررسی نقش عوامل تأثیرگذار بر عملکرد جهت شیب در رخدادهای لغزشی حوضه آبریز بابلرود است. این مطالعه در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول تراکم زمین‌لغزش‌ها در جهات اصلی شیب به تفکیک سازندها تعیین شد و در مرحله دوم، تراکم زمین‌لغزش‌ها در جهات اصلی شیب در رده‌های مختلف فاصله از گسل در هر سازند، موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تأثیر جهت شیب تا حدود زیادی تحت تأثیر فاصله از گسل و سنگ‌شناسی است؛ به‌طوری‌که نقش جهت شیب در رخدادهای لغزشی منطقه در کلاس‌های نزدیک گسل منفی و در کلاس دور از گسل مثبت ارزیابی شد. همچنین در سازندهای نرم و فرسایش پذیر مارن، شیل و آهک مارنی، نقش جهت شیب منفی و در سازندهای مقاوم نظیر آهک، دولومیت و ماسه‌سنگ، مثبت و طبق انتظار است.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش، جهت شیب، پهنه‌بندی، GIS، حوضه آبریز بابلرود.

۱. مقدمه

ناپایداری‌های دامنه‌ای یا زمین‌لغزش‌ها ازجمله پدیده‌های طبیعی تغییر شکل‌دهنده سطح زمین هستند که در تمام دوران‌های زمین‌شناسی وجود داشته‌اند و در حال حاضر از آن به‌عنوان یکی از بلایای اصلی در بسیاری از نقاط جهان نام برده می‌شود (حافظی مقدس، ۱۳۹۰: ۳۶۵). عوامل ایجاد این پدیده طبیعی

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۹۱۱۲۹۶۱ Email: fattahi.maryam.b@gmail.com

مخرب می‌تواند ذاتی و مربوط به محدوده‌ای با مشخصات زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مشخصی بوده و یا تحت تأثیر عوامل بیرونی چون: تغییر کاربری زمین، بارگذاری، تغییر شیب و... باشد.

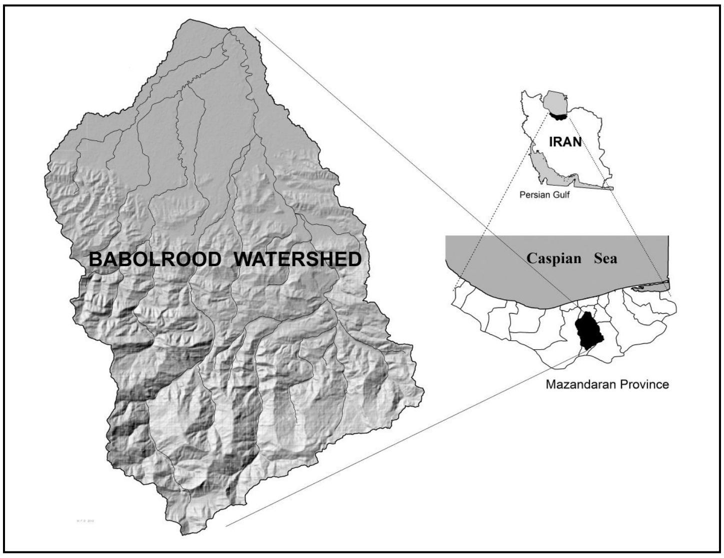
به دلیل اهمیت موضوع زمین‌لغزش، مطالعات زیادی توسط پژوهشگران مختلف در سرتاسر دنیا انجام‌شده است؛ به‌عنوان‌مثال: وارنرز[1]،۱۹۷۸؛ ون وستن[2]،۱۹۹۸؛ لن[3] و همکاران،۲۰۰٤؛ بریدیو[4] و همکاران،۲۰۰۷؛ آوانزی[5] و همکاران،۲۰۰٤؛ وانگ[6] و همکاران، ۲۰۱۱ و همچنین در ایران: انتظاری،۱۳۸۵؛ فتاحی‌بندپی، ۱۳۸٦؛ فیض نیا و کلارستاقی، ۱۳۸۳؛ ارومیه‌ای و صفایی ۲۰۰۰.

در این پژوهش به بررسی نقش عامل جهت شیب و میزان تأثیر آن در حوضه آبریز بابلرود پرداخته‌شده است. جهت شیب، یکی از عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش می‌باشد که در بسیاری از روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورداستفاده قرار می‌گیرد. طبق مطالعات صورت گرفته، در نیمکره شمالی دامنه‌های شمالی (و غربی) با تابش کمتر خورشید و تجمع و حضور بیشتر آب و رطوبت مواجه بوده (احمدی،۱۳۸۱: ٤٥۹) و حالت عکس آن در دامنه‌های جنوبی (و شرقی) که زمان بیشتری از نور خورشید بهره‌مند هستند، مشاهده می‌گردد. درنتیجه در این دامنه‌ها رطوبت و ضخامت خاک کمتر است و پایدارتر هستند (حافظی مقدس، ۱۳۹۰: ۳۷۲). به همین علت معمولاً بیشترین تعداد رخدادهای لغزشی در جهت شیب شمالی و کمترین آن در جهت شیب جنوبی مشاهده می‌شود (شریعت جعفری،۱۳۷۵). باوجود تأیید این مطلب در بسیاری از مطالعات، مشاهده می‌شود که این وضعیت در برخی مناطق صدق نمی‌کند و خود جهت شیب تحت تأثیر عوامل دیگری قرار می‌گیرد که بر وضعیت رطوبت و پایداری جهت‌های مختلف شیب تأثیرهای متفاوت می‌گذارد. در این پژوهش، ضمن بررسی میزان تأثیر این عامل در رخدادهای لغزشی منطقه موردمطالعه، به بررسی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی کاهش اثر جهت شیب بر رخدادهای لغزشی منطقه موردمطالعه پرداخته‌شده است.

۲. منطقه موردمطالعه

حوضه آبریز بابلرود در شمال ایران و در استان مازندران قرار دارد. این محدوده با مساحتی حدود ۱٤۹۲/۹۷ کیلومترمربع بین °۳٦ تا '۳۳ °۳٦ عرض جغرافیایی شمالی و '۲٥ °٥۲ تا '٥٥ °٥۲ طول جغرافیایی قرارگرفته است.

1 Varnes
2 Van Westen
3 Lan
4 Brideau
5 Avanzi
6 Wang



شکل۱ موقعیت منطقه موردمطالعه، حوضه آبریز بابلرود

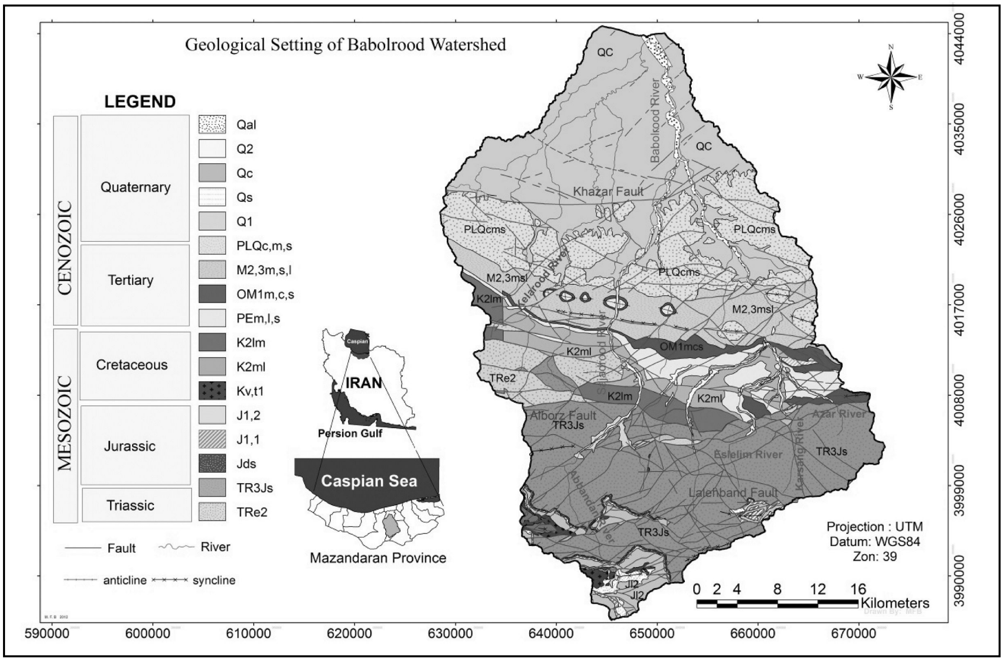
این حوضه از مراکز پرجمعیت استان مازندران به شمار می‌آید که هرساله بروز زمین‌لغزش‌های متعدد در آن موجب آسیب به جاده‌های ارتباطی، مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و باغات می‌گردد (شکل ۲). بخش اعظم منطقه موردمطالعه از پوشش جنگلی تشکیل‌شده است که در سال‌های گذشته تحت تأثیر تغییر کاربری زمین، زمین‌لغزش‌های متعددی در آن رخداده است. میانگین بارش سالانه بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال است که با افزایش ارتفاع به سمت جنوب، این میزان افزایش یافته و در ارتفاعات به‌صورت برف مشاهده می‌شود (نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ قائم‌شهر).



شکل۲ زمین‌لغزش‌های رخداده در حوضه آبریز بابلرود (بندپی بابل)

از نظر زمین‌شناسی حوضه آبریز بابلرود در دامنه‌های شمالی البرز مرکزی و در نقشه‌های زمین‌شناسی قائم‌شهر و آمل با مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ و ساری با مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) قرارگرفته است.

این حوضه از واحدهای سنگی مختلفی تشکیل‌شده است که بیشترین گسترش واحدهای سنگی این منطقه از نوع رسوبی بوده و رخنمون‌های بسیار کوچکی از سنگ‌های آذرین بیرونی و نفوذی در قسمت‌های جنوبی مشاهده می‌گردد (شکل ۳). سازندهای موجود در این ناحیه به‌طورکلی از: مارن، مارن سیلت دار، سیلت، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، آهک، آهک‌های دولومیتی و دولومیت تشکیل‌شده‌اند که سست‌ترین آن‌ها مارن‌ها به همراه بخش‌های کوچکی از گچ و مقاوم‌ترین این واحدها سنگ‌آهک و دولومیت می‌باشند (جدول۱).



شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه به نقل از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قائم‌شهر و آمل

از نظر ساختاری منطقه موردمطالعه از تراکم بالای گسل‌ها تشکیل‌شده است. گسل خزر، البرز، لاله بند با روند شرقی – غربی از مهم‌ترین گسل‌های منطقه بوده و گسل‌های متعدد دیگری در بین گسل‌های فوق با روندهای مختلف مشاهده می‌شوند (شکل ۳). ریخت‌شناسی منطقه به‌شدت تحت تأثیر ساختارهای ناحیه‌ای و نیز ماهیت سنگ‌شناسی رخنمون‌هاست، روند افزایش بلندا، از شمال به جنوب است و اختلاف ارتفاع زیادی دیده می‌شود (نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ قائم‌شهر). محور اصلی چین‌ها، متأثر از روند عمومی رشته‌کوه‌های البرز بوده و اغلب موازی و در راستای خاوری– باختری می‌باشد.

جدول۱ مشخصات واحدهای زمین‌شناسی حوضه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ قائم‌شهر)

واحد	جنس مصالح
Q	نواحی زراعتی، آبرفت سست بستر رودخانه، مخروط‌افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی
$PLQ_{c,m,s}$	کنگلومرا، مارن سیلت دار، ماسه‌سنگ، سیلت سنگ
$M2,_{3m,s,l}$	مارن، ماسه‌سنگ، سیلت سنگ‌آهکی، مارن سیلت دار، سنگ‌آهک ماسه‌ای، مادستون
$OM1_{m,c,s}$	مارن سیلت دار، سنگ‌آهک ماسه‌ای- مارنی، ماسه‌سنگ آهکی، کنگلومرا
$PE_{m,l,s}$	مارن سیلت دار، مارن، مارن آهکی، سنگ‌آهک، سنگ‌آهک مارنی
K_{2lm}	سنگ‌آهک اوربیتولین دار
$K2_{ml}$	سنگ‌آهک، سنگ‌آهک مارنی، مارن آهکی و مارن خاکستری- سبز- زردرنگ
J_{l2}	سنگ‌آهک‌های آمونیت دار نازک تا متوسط لایه خاکستری تیره
J_{l1}	مارن، مارن آهکی و سنگ‌آهک مارنی آمونیت دار سبز روشن – کرم‌رنگ
TR_3J_s	شیل، ماسه‌سنگ، سیلت سنگ، رس سنگ، ماسه‌سنگ کوارتزیتی، کنگلومرا، زغال دار
TRe_2	دولومیت ضخیم لایه تا توده‌ای شکل خاکستری‌رنگ، سنگ‌آهک دولومیتی، سنگ‌آهک

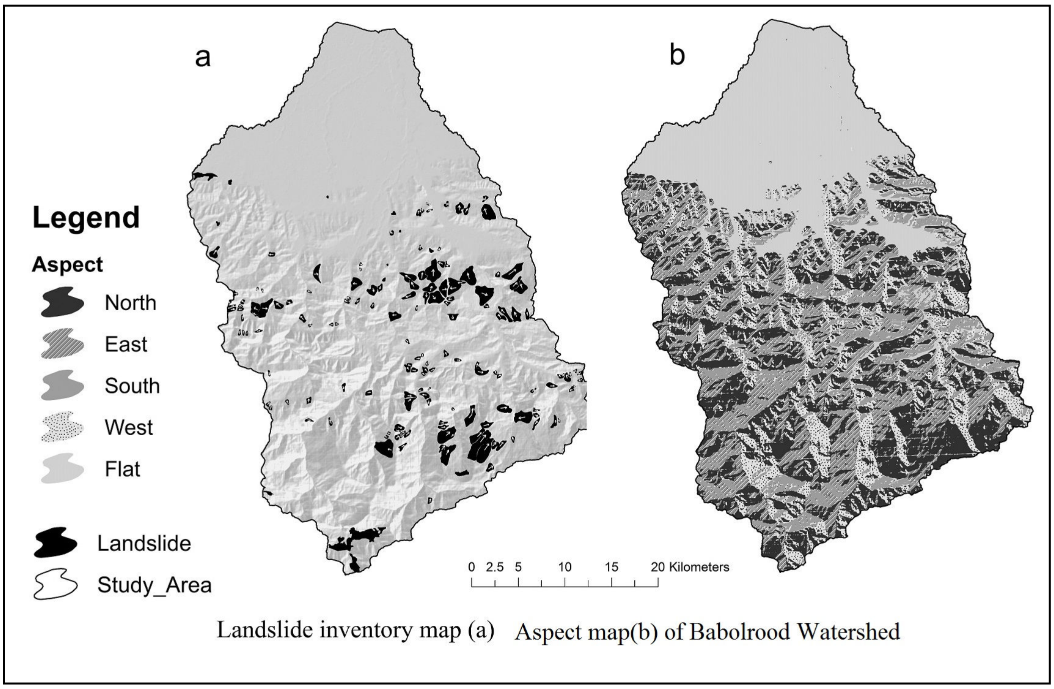
۳. مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] اقدام به تهیه لایه‌های مورد نیاز گردید (جدول ۲). این لایه‌ها عبارت‌اند از: لایه زمین‌لغزش‌های موجود که با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۲۰،۰۰۰سازمان جغرافیایی ارتش تهیه‌شده و در محیط نرم افزار Arc GIS رقومی گردید (شکل (a)٤)، لایه‌های رقومی سنگ‌شناسی[2] و گسل که با رقومی کردن نقشه ۱:۱۰۰،۰۰۰ زمین‌شناسی به دست آمد (شکل۳ و ۷b) و لایه رقومی جهت شیب که با استفاده از مدل رقومی ارتفاع[3] منطقه تهیه شد (شکل ((٤b) و کلاسه‌بندی آن به جهت‌های اصلی شیب صورت گرفت (جدول۳).

جدول ۲ لایه‌های مورداستفاده و منبع مورداستفاده برای تهیه این لایه‌های اطلاعاتی

ردیف	نوع عارضه	لایه‌های مورداستفاده	منبع
۱	ناحیه‌ای	زمین‌لغزش	عکس‌های هوایی ۱:۲۰،۰۰۰
۲	خطی	گسل	نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰
۳	ناحیه‌ای	زمین‌شناسی	نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰
٤	ناحیه‌ای	جهت شیب	DEM ۲۰ متر منطقه

1GIS
2 Lithology
3 Digital Elevation Model (DEM)



شکل ٤ لایه زمین‌لغزش‌های موجود (a) و لایه جهت شیب (b) حوضه آبریز بابلرود

جدول ۳ کلاسه‌های جهت شیب، در این پژوهش جهت‌های اصلی در نظر گرفته شد

جهت‌های جغرافیایی	علامت	حداقل آزیموت به درجه	حداکثر آزیموت به درجه
شمال	N	٤٥	۳۱٥
شرق	E	٤٥	۱۳٥
جنوب	S	۱۳٥	۲۲٥
غرب	W	۲۲٥	۳۱٥
مسطح	P	۰	۰

در ادامه برای انجام تحلیل‌های لازم در محیط GIS مراحل زیر انجام شد: در ابتدا برای بررسی تأثیر نقش جهت شیب در رخدادهای لغزشی حوضه آبریز بابلرود، اقدام به تعیین میزان تراکم زمین‌لغزش در هر کلاس از جهت شیب گردید (رابطه ۱):

رابطه ۱: $L_l=A_l/A_T$

که در آن L_l: میزان تراکم زمین‌لغزش

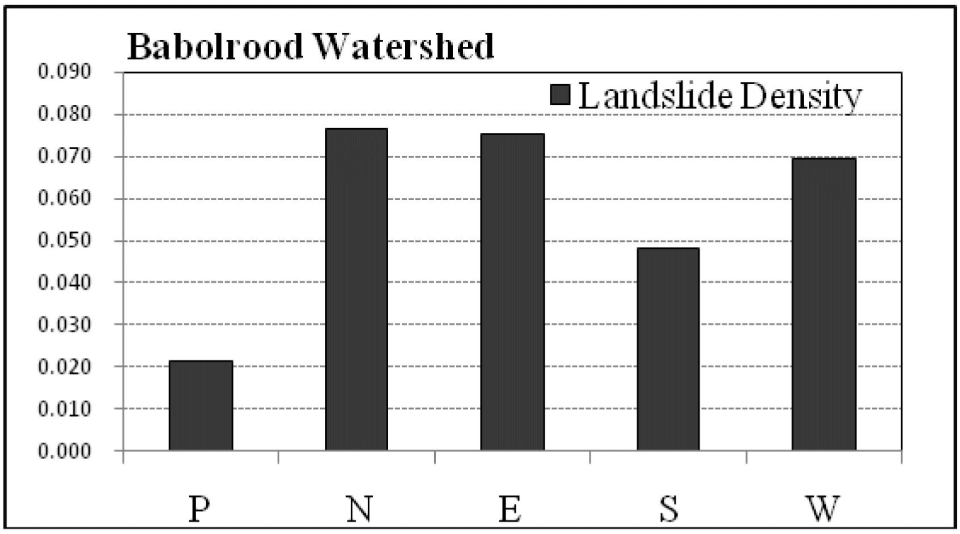
A_l: مساحت متأثر از زمین‌لغزش

A_T: مساحت کل واحد جهت شیب

برای انجام این کار با استفاده از نرم افزار ArcGIS مساحت‌های مربوط به ۱- زمین‌لغزش‌های موجود در هـر کلاس از جهت شیب و ۲- کلاس‌های جهت شیب به دست آمد سپس با استفاده از رابطـه ۱ میـزان تـراکم زمین‌لغزش برای هریک از جهت‌های اصلی شیب (برای کل حوضه) محاسبه گردید (جدول٤).

جدول ٤ تراکم زمین‌لغزش‌ها در حوضه آبریز بابلرود در کلاس‌های اصلی جهت شیب

جهت شیب	علامت	مساحت هر کلاس (هکتار)	مساحت لغزش (هکتار)	تراکم لغزش
مسطح	P	٤٤٣٢٧/٢٧	٢٨/٩٥	٠/٠٢١
شمال	N	٣٨٣٦٢/٤٥	٣٨٨٨/٩	٠/٠٧٧
شرق	E	٢٧٤٢٩/١٨	٢٦٣١/١٨	٠/٠٧٥
جنوب	S	١٥٩٧١/٩١	٩٢٣/٣٤	٠/٠٤٨
غرب	W	٢٣٢١١	٢١٢٣/٣٩	٠/٠٦٩



شکل ٥ نمودار تراکم سطحی لغزش در هر کلاس از جهت شیب در کل حوضه آبریز بابلرود

با در دست داشتن میزان تراکم لغزش در هر کلاس از جهت شیب، نمودار مربوط به تراکم زمین‌لغـزش در هر کلاس ترسیم شد (شکل ٥). در نمودار به‌دست‌آمده، جهت شمال (و شرقی) بیشترین و جهت جنـوب کمترین مقدار تراکم زمین‌لغزش را نشان می‌دهد، ولی با توجه به بالا بودن تراکم زمین‌لغزش در جهت شـرقی که تقریباً برابر جهت شمالی است و مقدار آن از جهت شیب غرب (که بعد از جهت شمالی بیشترین تـأثیر را

در وقوع زمین‌لغزش دارد) هم بیشتر است، رابطه و تأثیر این لایه با رخدادهای لغزشی منطقه تقریباً منفی می‌باشد و به نظر می‌رسد که تحت تأثیر عوامل مؤثر دیگری میزان تأثیر عامل جهت شیب کاسته شده باشد.

در مرحله بعد، برای بررسی عوامل تأثیرگذار بر عملکرد جهت شیب، لایه‌های دیگری مثل کاربری اراضی و تراکم جاده‌ها بررسی گردید با توجه به اینکه بخش اعظم کاربری حوضه در مناطق لغزشی، جنگل بوده و تراکم جاده‌ها هم در حدی نبوده که بر روی جهت شیب تأثیرگذار باشد از آن‌ها صرف‌نظر کرده و به مطالعه دو لایه اطلاعاتی گسل و واحدهای سنگ‌شناسی مختلف، در میزان عملکرد جهت شیب، در رخدادهای لغزشی حوضه آبریز بابلرود پرداخته شد. این بررسی طی دو مرحله در محیط Arc GIS صورت گرفت:

مرحله اول: ارزیابی نقش سنگ‌شناسی در میزان تأثیر عملکرد جهت شیب در رخدادهای لغزشی منطقه که با به دست آوردن تراکم زمین‌لغزش در کلاس‌های اصلی شیب (رابطه ١) به تفکیک هر واحد سنگ‌شناسی صورت گرفت.

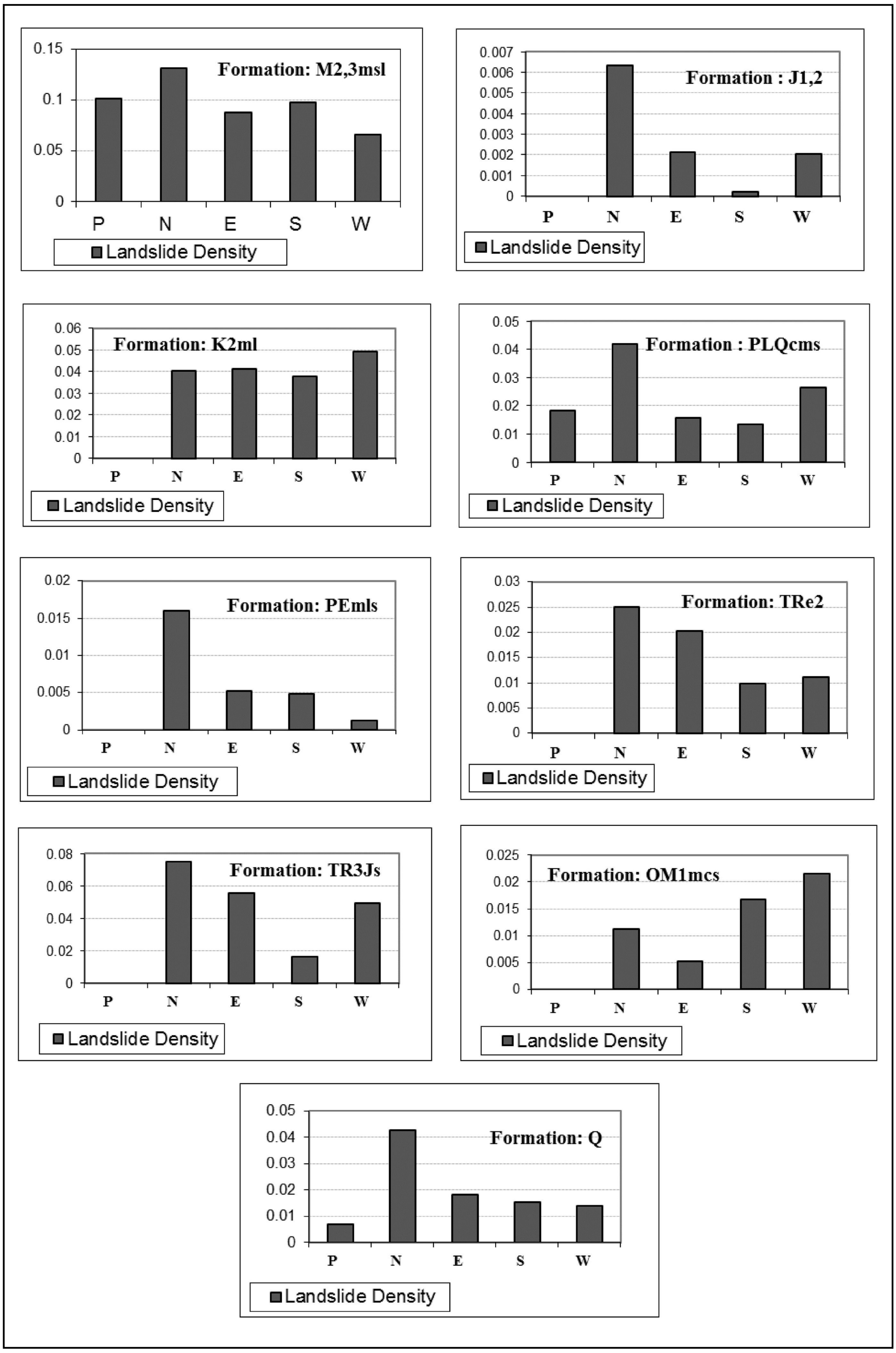
مرحله دوم: ب- بررسی نقش فاصله از گسل در میزان عملکرد جهت شیب در رخدادهای لغزشی منطقه: که با به دست آوردن تراکم زمین‌لغزش در کلاس‌های اصلی جهت شیب (رابطه ١) در دو محدوده کلاس‌های نزدیک و دور از گسل‌ها (به تفکیک هر واحد سنگ‌شناسی) انجام شد.

٤. بحث و نتایج

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که عامل جهت شیب، رابطه ضعیفی با رخدادهای لغزشی حوضه آبریز بابلرود نشان می‌دهد و به نظر می‌رسد که تحت تأثیر دیگر عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش از شدت تأثیر و اهمیت آن کاسته شده است. با توجه به نقش مهم عوامل زمین‌شناسی (گسل و سنگ‌شناسی) بر روی زمین‌لغزش‌های حوضه آبریز بابلرود، ارزیابی تأثیر این دو عامل بر عملکرد لایه جهت شیب در دو مرحله صورت گرفت:

الف- ارزیابی نقش سنگ‌شناسی در میزان تأثیر عملکرد جهت شیب در رخدادهای لغزشی منطقه:

با توجه به تنوع سنگ‌شناسی در حوضه، ارزیابی‌ها در این مرحله برای هر واحد سنگ‌شناسی به‌صورت جداگانه انجام شد؛ به‌طور مثال برای سازند شمشک (TR3Js) تراکم زمین‌لغزش در هر کلاس از جهت شیب به‌صورت جداگانه محاسبه شد (رابطه ١) که این نمودار نمایانگر میزان تراکم زمین‌لغزش در جهت‌های اصلی شیب در سازند شمشک است. این عمل برای تقریباً تمام سازندهای منطقه که لغزش بر روی آن‌ها رخ‌داده انجام‌شده و نتیجه به‌صورت نمودار برای هر سازند ارائه گردید (شکل ٦):



شکل ٦ نقش سازندهای مختلف روی تراکم زمین‌لغزش در جهات شیب مختلف

جدول ٥ بیشترین و کمترین تراکم لغزش در جهت‌های شیب اصلی در هر سازند

واحد سنگ‌شناسی	بیشترین تراکم لغزش در جهت شیب	کمترین تراکم لغزش در جهت شیب	نتیجه
PlQcms	شمالN	جنوبS	√
M2,3 m,s,l	شمالN	غربW	×
Q	شمالN	غربW	×
OM1m,c,s	غربW	شرقE	×
TR3Js	شمالN	جنوبS	√
TRe2	شمالN	جنوبS	√
Jl2	شمالN	جنوبS	√
K2	غربW	جنوبS	×
PEm,l,s	شمالN	غربW	×

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل نمودارهای شکل ٦ و جدول ٥ به‌صورت زیر است:

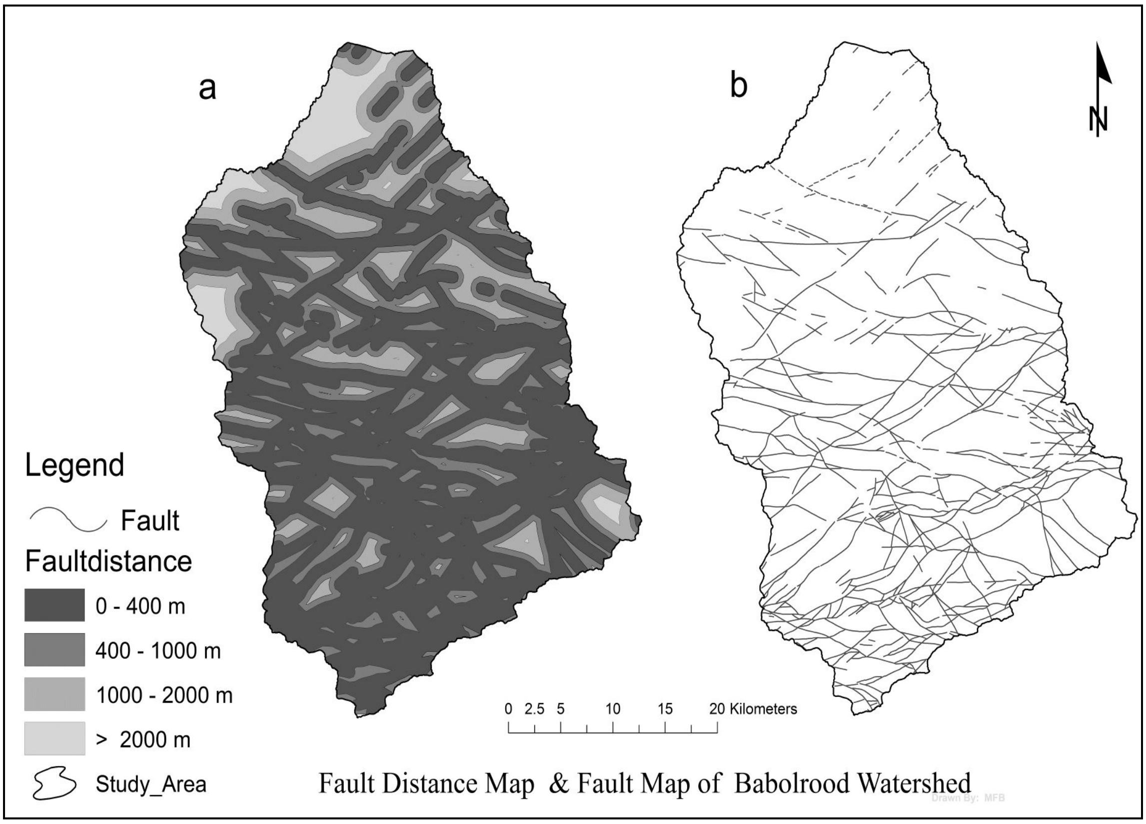
١- در ٤ واحد سنگ‌شناسی (سازند) از منطقه شامل: PlQcms (کنگلومرای سری قاره‌ای)، Jl2 (لار)، TR3Js (شمشک) و TRe2 (الیکا) جهت شیب شمالی بیشترین و جنوبی کمترین تراکم لغزش را شامل می‌شوند و جهت شیب در این سازندها عملکرد مثبت در رخداد زمین‌لغزش دارد.

٢- در ٢ واحد سنگ‌شناسی OM1m,c,s و K2 در قسمت میانی حوضه جهت غربی بیشترین تراکم و به ترتیب شرقی و جنوبی کمترین تراکم و در سه سازند M2,3 m,s,l ، PEm,l,s و Q جهت شیب شمال بیشترین و غرب کمترین تراکم لغزش را نشان می‌دهند.

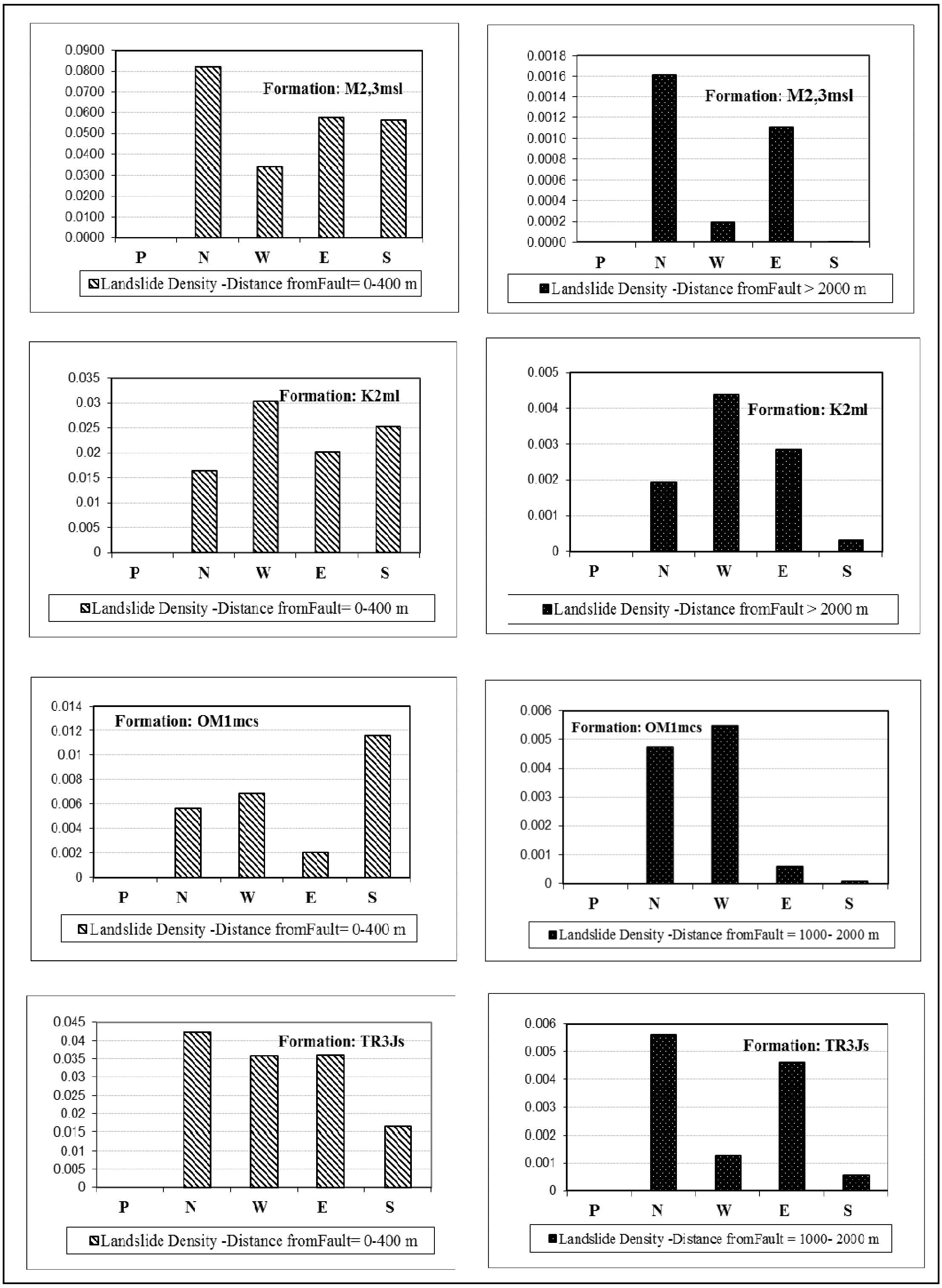
به‌طورکلی، ٤٤درصد از واحدهای سنگ‌شناسی منطقه PlQcms (سری قاره‌ای)، Jl2 (لار)، TR3Js (شمشک) و TRe2(الیکا) که واحدهای مقاوم‌تر را تشکیل می‌دهند نتایجی قابل قبولی را نشان دادند و عملکرد جهت شیب در این سازندها بر روی لغزش‌های منطقه مثبت ارزیابی شد. ولی در بقیه سازندها که نسبت به سازندهای فوق فرسایش‌پذیری بیشتری دارند (واحدهای سنگی OM1m,c,s(هم‌ارز سازند قم) و K2 (آهک مارنی و آهک کرتاسه فوقانی)M2,3 m,s,l، (هم‌ارز سازند قرمز بالایی)، PEm,l,s و Q (واحدهای کواترنر) نتایجی بر خلاف انتظار ما به دست آمد و عملکرد جهت شیب در این سازندها در رخدادهای لغزشی منطقه قابل‌توجه نبود و رابطه مشخصی با زمین‌لغزش‌های منطقه نداشت.

ب- بررسی نقش فاصله از گسل (در واحدهای سنگ‌شناسی مختلف)، در میزان عملکرد جهت شیب، در رخدادهای لغزشی منطقه: در مرحله بعدی، با توجه به تراکم بالای گسل‌های منطقه موردمطالعه (شکل۷) که در کنار عامل سنگ‌شناسی از مهم‌ترین عوامل رخدادهای لغزشی این حوضه می‌باشند، از این لایه اطلاعاتی مهم که از نقشه ۱:۱۰۰،۰۰۰ زمین‌شناسی قائم‌شهر و آمل به دست آمد استفاده شد و کار به‌صورت زیر ادامه یافت:

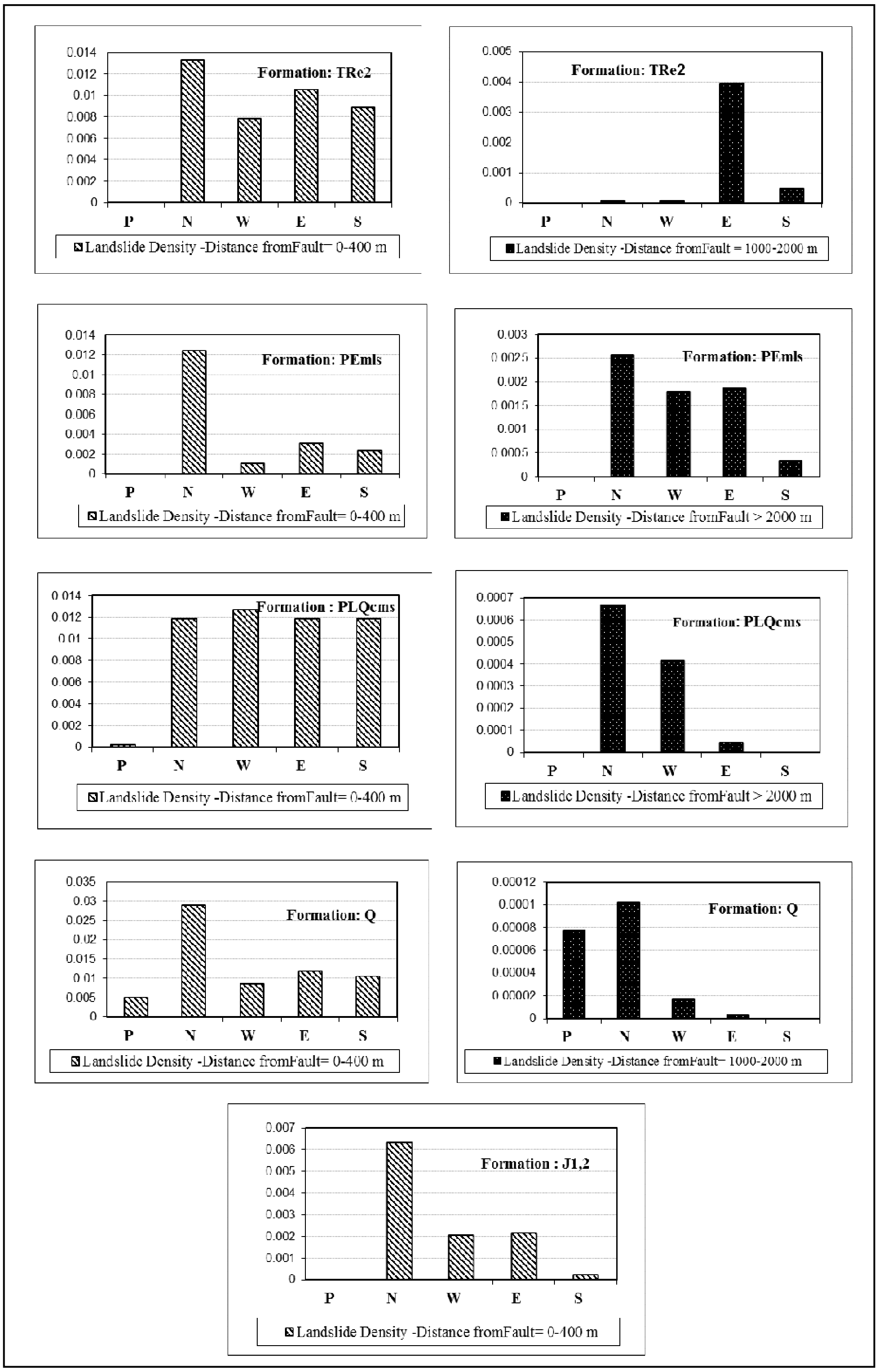
با استفاده از لایه رقومی گسل‌های حوضه اقدام به تهیه لایه رس‌تری فاصله از گسل گردید که این لایه در محیط GIS تهیه و کلاس‌بندی شد (شکل۷). هدف از این کار، بررسی تراکم لغزش در جهت‌های مختلف شیب در واحدهای سنگی مختلف در دو حالت: نزدیک‌ترین و دورترین فاصله از گسل است. با توجه به نقشه فاصله از گسل نزدیک‌ترین فاصله تا۴۰۰ متر و دورترین فاصله بیش از۲۰۰۰ متر تعیین‌شده است و تراکم زمین‌لغزش در جهت شیب‌های مختلف در دورترین و نزدیک‌ترین فاصله از گسل به تفکیک هر سازند محاسبه و نمودار مربوط به آن رسم گردید (شکل ۸).



شکل ۷ نقشه فاصله از گسل (a) و گسل (b) حوضه آبریز بابلرود



شکل ۸ تأثیر گسل بر روی تراکم زمین‌لغزش‌ها در جهات شیب مختلف در هر سازند، در دو حالت نزدیک‌ترین فاصله (نمودارهای سمت چپ) و دورترین فاصله (نمودارهای سمت راست) از گسل



ادامه شکل ۸ تأثیر گسل بر روی تراکم زمین‌لغزش‌ها در جهات شیب مختلف در هر سازند، در دو حالت نزدیک‌ترین فاصله (نمودارهای سمت چپ) و دورترین فاصله (نمودارهای سمت راست) از گسل

جدول٦ نتایج حاصل از شکل ۸ اثر جهت شیب بر تراکم لغزش در نزدیک‌ترین و دورترین فاصله از گسل در هر سازند

واحد سنگ‌شناسی	در فاصله نزدیک گسل: بیشترین تراکم لغزش	در فاصله نزدیک گسل: کمترین تراکم لغزش	در فاصله دور از گسل: بیشترین تراکم لغزش	در فاصله دور از گسل: کمترین تراکم لغزش	مقایسه تأثیر جهت شیب در دو کلاس (√ مؤثر، × بی‌اثر): نزدیک گسل	مقایسه تأثیر جهت شیب در دو کلاس (√ مؤثر، × بی‌اثر): دور از گسل
PlQcms	W	E	N	S	×	√
M2,3 m,s,l	N	W	N	S	×	√
Q	N	W	N	S	×	√
OM1m,c,s	S	E	W	S	×	√
TR3Js	N	S	N	S	√	√
TRe2	N	W	E	W	×	×
Jl2	N	S	…	…	√	√
K2	W	N	W	S	×	√
PEm,l,s	N	W	N	S	×	√

در مرحله دوم به‌منظور ارزیابی نقش گسل‌های منطقه در میزان عملکرد جهت شیب، تراکم زمین‌لغزش در کلاس‌های جهت شیب، در دو حالت: دورترین و نزدیک‌ترین فاصله از گسل‌های منطقه به تفکیک هر واحد سنگ‌شناسی انجام شد و نتایج زیر به دست آمد (شکل ۸ و جدول ٦):

۱- در حالت نزدیک به گسل، در ٦ واحد سنگ‌شناسی (سازند): $M_{2,3\ m,s,l}$ (هم‌ارز سازند قرمز بالایی)، K_2 (کرتاسه فوقانی)، $OM_{1m,c,s}$ (هم‌ارز سازند قم)، $PE_{m,l,s}$، PlQ_{cms} (کنگلومرای سری قاره‌ای) و Q (واحدهای کواترنر) نقش جهت شیب منفی و در ۳ واحد سنگ‌شناسی J_{l2} (لار)، TR_3J_s (شمشک) و TR_{e2}(الیکا) نقش جهت شیب مثبت ارزیابی شد.

۲- در حالت دور از گسل، در واحدهای سنگ‌شناسی: PlQ_{cms} (کنگلومرای سری قاره‌ای) و Q (واحدهای کواترنر)، $PE_{m,l,s}$، TR_3J_s (شمشک)$M_{2,3\ m,s,l}$ ، (هم‌ارز سازند قرمز بالایی)، نقش جهت شیب مثبت تعیین شد (شمال بیشترین تراکم و جنوب کمترین تراکم زمین‌لغزش) با این تفاوت که در سه واحد PEm,l,s، TR3Js، M2,3 m,s,l جهت شیب شرقی تراکم لغزش بیشتری از جهت شیب غرب را نشان می‌دهد. دو واحد OM1m,c,s و K2 هم نتیجه بهتری از حالت نزدیک به گسل نشان دادند و جهت شیب نقش تقریباً مؤثرتری را نسبت به حالت نزدیک به گسل نشان می‌دهد. در سازند J_{l1} به دلیل مقاومت بالاتر

نسبت به دیگر سازندها، تنها در فاصله نزدیک به گسل تراکم لغزش در حالت دور از گسل لغزشی وجود نداشت و تنها در واحد TR_{e2}(الیکا) نقش جهت شیب منفی تعیین شد.

۵. نتیجه‌گیری

جهت شیب، یکی از عوامل تأثیرگذار در رخداد زمین‌لغزش است که در مناطق مختلف میزان تأثیر آن متفاوت می‌باشد. در بسیاری از روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از این لایه اطلاعاتی در صورت مشخص شدن تأثیر مثبت آن در رخدادهای لغزشی منطقه موردمطالعه، استفاده می‌شود. در بعضی موارد مشاهده می‌شود که عامل جهت شیب، تحت تأثیر عوامل دیگری قرارگرفته و اهمیت آن در رخدادهای لغزشی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در این پژوهش، ارتباط عامل جهت شیب بر نحوه پراکندگی زمین‌لغزش‌های حوضه آبریز بابلرود با در نظر گرفتن نقش فاصله از گسل و سنگ‌شناسی و میزان تأثیر آن، موردبررسی قرار گرفت و نتایج به شرح زیر به دست آمد:

_ با بررسی عوامل مختلف تأثیرگذار در ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقه موردمطالعه، مؤثرترین عوامل بر تغییر عملکرد جهت شیب، گسل‌ها و سنگ‌شناسی منطقه تشخیص داده شد. این دو عامل از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در رخدادهای لغزشی منطقه موردمطالعه می‌باشند.

_ نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که عملکرد عامل جهت شیب (در توزیع تراکم زمین‌لغزش در جهات اصلی شیب) در سازندهای مختلف متفاوت است. در اکثر سازندهای سخت‌تر موجود در منطقه، اثر عامل جهت شیب به‌صورت واضح‌تری بر روی ناپایداری‌های دامنه‌ای تأثیر گذشته و از روند مورد انتظار (جهت شیب شمال تراکم لغزش بیشتر و جهت شیب جنوب تراکم لغزش کمتر) پیروی می‌کند. درصورتی‌که در سازندهای مارندار و فرسایش پذیر تر منطقه این حالت مشاهده نمی‌شود و نتیجه منفی است.

_ همچنین اثر جهت شیب در فواصل نزدیک و دور از گسل نیز موردبررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در فواصل دورتر از گسل، تأثیر جهت شیب بر وقوع زمین‌لغزش‌ها مثبت و طبق انتظار و در فواصل نزدیک به گسل متفاوت و بر خلاف روند ذکر شده (شمال و غرب بیشترین تراکم و شرق و جنوب کمترین تراکم زمین‌لغزش) می‌باشد.

_ اثر جهت شیب در نزدیکی گسل‌ها، در سازندهای نرم و مارنی نسبت به سازندهای سخت منطقه بیشتر تحت تأثیر قرارگرفته و تغییر کرده است.

_ نتایج نشان دادند که تغییر در عملکرد جهت شیب در حوضه آبریز بابلرود در درجه اول تحت تأثیر گسل‌ها و ساختارهای منطقه و در درجه دوم سنگ‌شناسی این حوضه به وجود آمده است.

با توجه به نتایج فوق تأثیر گسل‌ها و سنگ‌شناسی (نوع سازندها) منطقه بر روی عملکرد جهت شیب را می‌توان به تغییر خصوصیات مهندسی و مقاومتی سازندها با توجه به تأثیر گسل‌ها و همچنین جنس سنگ‌ها مربوط دانست. تراکم گسل‌ها علاوه بر افزایش فرسایش‌پذیری و کاهش مقاومت سازندها باعث افزایش میزان رطوبت و نفوذپذیری در دامنه‌های مختلف این سازندها می‌شود و خصوصیات ذاتی جهت‌های شیب دامنه را از نظر میزان رطوبت و پایداری تغییر می‌دهد. مقاومت برشی سنگ‌ها و خاک‌های واجد کانی‌های رسی با افزایش درصد رطوبت به‌شدت کاهش‌یافته و موجب ناپایداری در این سازندها می‌شود؛ به همین دلیل می‌توان کاهش تأثیر جهت شیب بر روی وقوع زمین‌لغزش‌ها در منطقه موردمطالعه را تا حد زیادی به تراکم بالای گسل‌ها و وجود سازندهایی با خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی ضعیف مربوط دانست.

کتابنامه

احمدی، حسن؛ محمدخان، شیرین؛ ۱۳۸۱. بررسی برخی از عوامل حرکت‌های توده‌ای مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران. ٥٥(٤): ٤٥٥-٤٦٦. تهران.

انتظاری، امیر؛ ۱۳۸۵. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده حوضه آبریز سد بالایی سیاه‌بیشه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی. گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران به راهنمایی علی ارومیه‌ای.

حافظی مقدس، ناصر؛ ۱۳۹۰. زمین‌شناسی مهندس، چاپ مشهد: نشر آرسس.

حافظی مقدس، ناصر؛ غفوری، محمد؛ ۱۳۸۸. زمین‌شناسی زیست‌محیطی. چاپ شاهرود: نشر دانشگاه صنعتی شاهرود.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ١٣٤٦. عکس‌های هوایی محدوده مقیاس ۱:۲۰۰۰۰. موردمطالعه.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ ۱۳۸۳. نقشه توپوگرافی، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، شیت: فیلبند 6562 IV، درازکلا 6562 IV، قائم‌شهر 6562 I ، زیرآب 6562 II، آمل 6462 I ، شاه زید 6462 II.

شریعت جعفری، محسن؛ ۱۳۷۵. زمین‌لغزش مبنای و اصول پایدارسازی شیب‌های طبیعی. چاپ تهران: انتشارات سازه.

فتاحی بندپی، مریم؛ ١٣٨٦. پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در حوضه آبریز بابلرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی. گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. به راهنمایی علی ارومیه‌ای، ۲۰۳ ص.

ارومیه‌ای، علی؛ فتاحی بندپی، مریم؛ صفایی، مهرداد؛ ۱۳۸۷. بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی در ناپایداری دامنه‌های حوضه آبریز بابلرود. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی. (۳): ١٦١-١٥٢. زاهدان.

فیض نیا، سادات و دیگران؛ ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیرین رود –سد تجن). مجله منابع طبیعی ایران. ۵۷ (۱):۲۲-۳.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور؛ ۱۳۷۸. نقشه زمین‌شناسی آمل. مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. برگه ٦٤٦٢.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور؛ ۱۳۸۲. نقشه زمین‌شناسی قائم‌شهر. مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. برگه ٦٥٦٢.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور؛ ۱۳٦۹. نقشه زمین‌شناسی ساری. مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. برگه ج ۱.

Ahmadi,H., Mohammadkhan,Sh., 2003. Determining the factors affecting mass movements (Case study: Taleghan Watershed). Journal of Natural Resources 55(4), 455-466.

Ambraseys,N.N., Melville,C.P., 1991. A Hystory of persion earthquakes. Agah publishers. Tehran.

Avanzi, G.D., Giannechini, R., & Puccinelli,A., 2004. The influence of the geological and geomorphological setting on shallow landslide, an example in a temperate climate environment: the June 19, 1996 event in northwestern Tuscany (Italy). Engineering Geology 73(3-4), 215-228.

Brideau, M.A., Stead, D., Roots, C., & Orwin, J., 2007. Geomorphology and engineering geology of a landslide in ultramafic rocks, Dawson city, Yukon. Engineering Geology 89 (3-4), 171-194.

Entezari,A.,2008. Landslide hazard zonation of Syahbisheh watershed dam. M.Sc Thesis of engineering geology, Department of Geology, Islamic Azad University Science and Research Branch,Tehran.

Faiz-Nia,S., Kalarstaghi,A., 2004. Investigation of factors influencing landslide occurrence in Shirinrood watershed. Journal of Natural Resources 57 (1).

Fattahi Bandpey,.M.,2007. Slope Instabilities zonation of Babolrood watershed. M.Sc Thesis of engineering geology, Department of Geology, Islamic Azad University Science and Research Branch,Tehran.

Geological Servey and Mineral exploration of Iran., 2000. Geologycal map of Amol 1:100,000. Sheet No.6462

Geological Servey and Mineral exploration of Iran., 2004. Geologycal map of Ghaem Shahr 1:100,000. Sheet No.6562.

Geological Servey and Mineral exploration of Iran. 1991. Geologycal map of Sari 1:250,000. Sheet No.1 G4.

Hafezi-Moghaddas,N.,2011. Engineering Geology. Arses publishers, Mashhad

Hafezi-Moghaddas,N.,Ghafoori,M., 2009. Environmental Geology. Shahrood university of tecnology publishers, Shahrood.

Lan, H. X., Zhou, C. H., Wang, L. J., Zhang, H. Y., & Li, R. H., 2004.Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed. Yunnan, China. Engineering Geology, 76,109-128.

Nandi, A., & Shakoor, A., 2010. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. Engineering Geology 110, 11–20.

National Geographical Organization of Iran., Aerial Photos 1:20000, (Study area).

National Geographical Organization of Iran., Topography maps 1:50,000. Sheets No. Filband 6562 IV ،Drazkola 6562 IV ،Ghaem shahr 6562 I ،Zirab 6562 II ،Amol 6462 I Shah zeyd 6462 II.

Pareta,k., Kumar,J., & Pareta,U., 2012. Landslide Hazard Zonation using Quantitative Methods in GIS. International Journal of Geospatial Engineering and Technology 1(1), 1-9.

Pareta, K., and Pareta, U., 2011. Developing a national databaseframework for natural disaster risk management. Proceedingsin ESRI International User Conference, San Diego, California.

Shariatjafari,M.,1996. Landslide. Sazeh publishers, Tehran.

Uromeihy, A., & Safaie, M., 2000..Effect of landuse on the development of slop instability in the neka-rood Watershed, Iran. Journal of Nepal Geological Socity 22, 421-428.

Uromeihy,A., Fattahi,M., Safaie,M., 2008. Investigation the effect of geilogycal formations on slope instabilities of Babolrood watershed. Applied Geology 3, 152-161.

Varnes, D. J., 1978. Landslide hazard zonation, a review of principles and practice. IAEG Commission on Landslides. UNESCO, Paris, p. 63.

Van Westen, C. J., 1998. Geographic information systems in slope instability zonation (GISSIZ). Volume I, II, Netherlands, Ensched.

Van Westen, C. J., & Soeters, R., 1998.Landslide hazard mapping. the Kakani Area (Nepal).GISSIZ, Version 2, (ITC), Netherlands, Ensched.

Van Westen, C. J., Rengers, N., Terlien, M.T.J., and Soeters, R.,1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. Geologische Rundschau 86, 404–414.

Wang, W. D., Guo, J., Fang, L. G., & Chang, X. S., 2011.A subjective and objective integrated weighting method for landslides susceptibility mapping based on GIS. Environmental Earth Sciences 65 (6), 1705-1714.

Wang, S.Q., and Unwin, D.J., 1992. Modelling landslide distribution on loess soils in China: an investigation. International Journal of Geographical Information Systems 6, 391-405.